Lei 7 (12)

DAS ANSTEIGEN DER SCHALLERREGUNG BEI TÖNEN VERSCHIEDENER HÖHE

INAUGURAL-DISSERTATION
ZUR ERLANGUNG DER DOKTORWÜRDE
DER
HOHEN PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT
DER UNIVERSITÄT LEIPZIG

VORGELEGT VON

PAUL SANDER
AUS BINGEN

LEIPZIG
WILHELM ENGELMANN
1910

Angenommen von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Sektion auf Grund der Gutachten der Herren WUNDT und WIENER.

Leipzig, den 14. Dez. 1909.

Der Procancellar
K. ROHN

Sonderabdruck aus: Wundt, Psycholog. Studien VI. Bd.

Lebenslauf.

Ich, **Paul Sander,** kath. Konfession, bin am 3. Januar 1886 zu Bingen a. Rh. geboren. Ich besuchte das Progymnasium meiner Vaterstadt, seit 1901 das Großh. Neue Gymnasium in Darmstadt, das ich an Ostern 1904 mit dem Zeugnis der Reife verließ.

Dann bezog ich die Universität Leipzig. Zwei Semester, von Oktober 1906 bis August 1907, verbrachte ich in München, wo ich die Herren Lipps, von Mayr und Voll hörte. Ich kehrte nach Leipzig zurück, und hier erstreckten sich meine Studien besonders auf Geschichte, Musikwissenschaft, Philosophie und Psychologie.

Allen meinen Lehrern, namentlich den Herren Prof. Brandenburg, Lamprecht, Riemann, Richter und Wundt, sage ich an dieser Stelle herzlichen Dank.

Inhalt.

I. Physikalische Grundlagen 6
II. Die Tonquellen 8
III. Die Technik der Reizdarbietung 11
IV. Die Ausführung der Versuche 15
V. Die Behandlung der Versuchsresultate 17
1. Die Dauer des Hauptreizes 17
2. Die Stärke des Vergleichsreizes 19
a) die rechnerische Behandlung der Urteile (Mittelwert) 19
b) die Bestimmung der zugehörigen Tonstärke 21
VI. Ergebnisse 23
1. Das Beobachtungsmaterial 23
2. Zur Interpretation 35
3. Allgemeine Tatsachen des Erregungsanstiegs 38

Das Ansteigen der Schallerregung bei Tönen verschiedener Höhe.

Mit 13 Figuren im Text.

Von

Paul Sander.

Die Beobachtung, daß der Verlauf der Empfindung bei der Reizung eines Sinnesorgans keineswegs ein treues Abbild der objektiven Reizverhältnisse liefert, ist nicht neu. Während der Reiz bei günstiger Anordnung weder in der Form noch in der Stärke eine Veränderung erleidet, zeigt die Empfindung während ihres ganzen Verlaufs eine stetige Folge von charakteristischen Phasen, die als Ausfluß bald peripherer, bald mehr zentraler Bedingungen gedeutet wurden. Besondere Beachtung fand schon lange die Tatsache, daß der Reiz einer bestimmten Einwirkungsdauer bedarf, um überhaupt zur Perzeption zu gelangen, und einer weiteren Zeit, um sich in der Empfindung zur vollen Intensität zu entwickeln.

Auf akustischem Gebiet lagen zur Bestimmung jener Zeitschwelle mehrfache, freilich noch umstrittene Mitteilungen vor. Das Anstiegsproblem aber hatte nur eine Anzahl Schätzungen gezeitigt und sich in allen Einzelheiten der exakten Messung entzogen, obwohl prinzipielle Schwierigkeiten psychologischer Natur nicht bestanden. Das Übel lag vielmehr im physikalischen Teil: die subjektive Intensität, die der untersuchte Ton bei einer bestimmten Einwirkungsdauer erreichte, konnte erst gemessen werden, wenn es gelang, einen Vergleichsreiz von konstanter Dauer durch methodische Variation seiner objektiven Stärke auf die jeweils gleiche subjektive Intensität zu bringen. Den ersten Versuch, diese physikalische Aufgabe und damit auch das psychologische Problem der Lösung näher zu führen,

stellt die Arbeit von Gust. Kafka im 2. Band der psych. Stud.[1]) dar. Die vorliegende Mitteilung soll über die allgemeinen Ergebnisse einer Untersuchung berichten, die, ebenfalls aus dem Leipziger psychologischen Institut hervorgegangen, mit anderen Mitteln denselben Zweck verfolgt.

I. Physikalische Grundlagen.

Die oben schon kurz skizzierte Methode, die in ihren Hauptzügen bei allen Anstiegsuntersuchungen gleichartig ist[2]), verwendet zwei sukzessiv dargebotene Reize: der eine (Haupt- oder Normalreiz) wirkt stets in voller Stärke, doch in den einzelnen Versuchsreihen verschieden lang; die durch ihn erzeugte Empfindung erreicht dann eine von der Dauer der Darbietungszeit abhängige Intensität. Zu deren Messung dient der zweite (Vergleichs- oder Prüfungs-) Reiz, der demnach in der Dauer unverändert bleibt, aber in der Stärke leicht und sicher abzustufen sein muß. Kafka, der den Ton einer elektromagnetisch betriebenen Stimmgabel durch Luftübertragung ins Ohr des Beobachters gelangen ließ, benützte zur Zeitvariation die Erfahrungen mehrerer Vorgänger; als Intensitätsmaß stand ihm ein Satz von Dämpfungsröhren zur Verfügung, die in die Zuleitung nach Bedarf eingeschaltet wurden.

Es erschien nun aussichtsreich, einmal das Telephon in den Dienst der Untersuchung zu stellen. Der durch ein Telephon fließende Strom ist ja jedenfalls einer sehr exakten Variation nach Zeit und Stärke zugänglich. Ob der Apparat den Anforderungen meiner Untersuchung genügte, hing demnach von dem Verhalten der Membran ab. Wir denken uns zunächst die physikalische Stärke des Tons von der Amplitude der Telephonplatte und diese von der Stromstärke irgendwie abhängig. Dann ist die objektive Konstanz der Tonqualität und -stärke nur solange gewährleistet, als Form und Weite der Membranschwingungen nachweislich erhalten bleiben; und die

---

[1]) Gustav Kafka, Über das Ansteigen der Tonerregung. Psychol. Studien II, 1906. S. 256. Diese Dissertation enthält einen kurzen historisch-kritischen Bericht über frühere Arbeiten.

[2]) Eingehende Darstellungen geben Kafka und im selben Band (S. 1) Max Buechner: Über das Ansteigen der Helligkeitserregung. Weitere Bemerkungen bei Berliner Bd. 3, und Arps, Bd. 4.

Dauer des Tons darf der Dauer des Stromschlusses nur gleichgesetzt werden, wenn die tonerzeugenden Schwingungen der Platte momentan mit der Schließung des Kreises einsetzen und ebenso mit der Unterbrechung verschwinden.

Die Untersuchung von Frank S. Wrinch »Über das Verhältnis der ebenmerklichen zu den übermerklichen Unterschieden im Gebiet des Zeitsinns« führte zu einer sorgfältigen Prüfung dieser Fragen. Sie wurde von Rob. Kempf-Hartmann vorgenommen und in einer ausführlichen Darstellung[1]) veröffentlicht. — Wrinch, dem infolge seiner Versuchszwecke nur daran gelegen war zu erfahren, wie sich die Dauer des Tons zur Zeit des Stromschlusses verhält, gibt an, daß beide »fast vollkommen übereinstimmten«. Kempf-Hartmann hat dann nicht bloß die speziellen Bedürfnisse jener Einzeluntersuchung berücksichtigt und gibt daher umfassenderen Aufschluß über das Verhalten der Platte. Die Messungen geschahen auf photographischem Wege, indem der auf der Telephonplatte befestigte Hohlspiegel einen ihn treffenden Strahl auf die rotierende lichtempfindliche Fläche zurückwarf. Es wurden Töne von 60 und 100 Schwingungen bei verschiedenen Stromstärken untersucht. Aus den »Ergebnissen« Kempfs, sowie aus den veröffentlichten Photogrammen entnehme ich folgendes:

Die Telephonmembran reagiert fast momentan auf Stromimpulse. Nach einer minimalen Latenzzeit (bis $^1/_2\ \sigma$) beginnen die Schwingungen mit voller Amplitude, und spätestens bei der zweiten Periode wird die Schwingungsform und -weite erreicht, die dann während des ganzen Stromschlusses genau erhalten bleibt. Nicht so sicher läßt sich das Verschwinden des Tons bestimmen; optisch sind nach der Stromunterbrechung noch ungefähr während der Dauer einer Periode minimale Schwingungen nachweisbar. Der resultierende Ton ist jedoch nur wahrzunehmen, wenn man das Telephon ans Ohr drückt, und »die Wirkung dieses Abklingens ist gering; die kleinen Nachzügler verlieren ihre Bedeutung bald, da ja die Energie (nahezu) mit dem Quadrat der Amplitude wächst bzw. fällt«. — Der Verlauf des erzeugten Klanges darf also für die ganze Dauer des Stromschlusses als homogen angesehen werden.

Durch diese Messungen ist erwiesen, daß der im Telephon ent-

[1]) Wrinch in Phil. Stud. Bd. 18. S. 274. Kempf in Ann. der Physik Bd. 8, 1902, 7. Heft. S. 481.

stehende Ton den Forderungen der Anstiegsuntersuchung entspricht: Er kann zeitlich genau begrenzt und dynamisch fein abgestuft werden, wenn nur die Abhängigkeit der Membranamplitude von der Stromstärke bekannt ist. Das Bestehen einer einfachen Proportionalität ist durch Arbeiten Max Wiens bewiesen und von mehreren Seiten bestätigt worden. O. Klemm benutzte dazu eine der Wienschen nachgebildete Spiegelübertragung[1]). Wrinch und Kempf stellten fest, daß auf ihren Photogrammen bei schwächerem Strom die Amplitude kleiner wurde. Endlich ergab auch eine von mir für die verwendeten Telephone und Stromstärken vorgenommene Prüfung mit dem Mikroskop ein übereinstimmendes Resultat[2]). Nach alledem ist es also erlaubt, die relative Stärke des Tons, die sich aus dem Quadrat der Amplitude ergibt, auch als Quadrat der jeweils im Telephonkreis abgelesenen Stromstärke darzustellen.

II. Die Tonquellen.

Der Ton *n* wird im Telephon durch *n* Unterbrechungen des den Magneten umfließenden Stroms erzwungen. Es ist klar, daß die Güte und Konstanz des Klanges hauptsächlich von zwei Teilen dieser Anordnung abhängt: von der Membran und von der Unterbrechungsvorrichtung. Die Telephonplatte muß so gewählt werden, daß ihre Eigentöne im Klangganzen sich möglichst wenig bemerkbar machen[3]). Mit aus diesem Grunde wurde für jede Tonhöhe ein besonderes Telephon beschafft, doch war Material, Radius und Einspannung der Platte bei allen gleich. Mit Hilfe eines vorgesetzten Zinkresonators erzielte ich bei Gabel 128 und 384 fast stets einen sehr guten Ton. Viel wichtiger noch ist eine exakte Unterbrechungsvorrichtung für den Strom der Spule. Mit den im

---

[1]) Max Wien: Annalen der Physik 42, 1891; 44, 1892, u. Pflügers Archiv 97. S. 1. O. Klemm: Untersuchung über den Verlauf der Aufmerksamkeit etc. Psych. Stud. Bd. 4, 1908, S. 283.

[2]) Auf der Membran wurde ein Glasstab befestigt; eine Bruchstelle an seiner Spitze erschien im konzentrierten Licht einer Bogenlampe unter einem Mikroskop von etwa 700facher Vergrößerung beobachtet als blinkender Punkt, der sich während des Stromschlusses zu einem leuchtenden Band auszog. Ein im Okular angebrachter Maßstab ermöglichte die Ablesung der Breite dieses Bandes, das sich bei der Schwächung des Anfangsstromes von 18 Milliampère durch eingeschalteten Widerstand bis 1100 Ohm stets mehr zusammenzog.

[3]) Vgl. dazu die genannten Aufsätze von Wien und Kempf.

Institut vorhandenen Mitteln ließ sich eine solche am leichtesten einrichten, wenn das Telephon in den Nebenschluß einer elektro-magnetisch betriebenen Stimmgabel gelegt wurde. Diese Gabeln waren hinter einem passenden Lampenwiderstand an den städtischen Strom angeschlossen und gingen im allgemeinen nach sorgfältiger Einstellung stundenlang sehr konstant. Der schwere Nachteil des Systems, der eine Zeitlang den Erfolg der ganzen Arbeit in Frage stellte, liegt jedoch darin, daß sich bei einer Neueinstellung die Stimmgabel nicht immer auf die gleiche physikalische Intensität bringen läßt. Unter diesem Übelstand litt bereits Kafkas Arbeit, freilich in weit geringerem Maße, da das Telephon hier neue Komplikationen verursacht. Nun ist die objektive Stärke, wie man schon oft bemerkt hat, nicht ohne Einfluß auf die Geschwindigkeit des Erregungsanstiegs, weshalb die Werte nur dann aufeinander bezogen werden dürfen, wenn die physikalischen Bedingungen unverändert sind. Ich mußte darum die anfangs durchgeführte Absicht, in jeder Versuchsstunde nur einen Punkt der Anstiegskurve durch zahlreiche Versuche genau zu bestimmen, bei einigen Gruppen aufgeben, um statt dessen mehrere Punkte in einer geringeren, doch völlig ausreichenden Zahl von Versuchen unter gleichen objektiven Bedingungen zu gewinnen. Bei maximaler Übung ließ sich dann wohl in mehrstündiger Arbeit ein einheitliches Bild des Anstiegs erzielen, indem die Messungen in Reihen von 20—25 Versuchen auf 8 oder 10 verschiedene Punkte ausgedehnt wurden; freilich machte sich hierbei gegen Ende immer eine starke Ermüdung störend bemerkbar.

Das Zusammenwirken von Stimmgabel und Telephonnebenschluß ergibt sich aus dem Schema Fig. 1. Die Abzweigung erfolgt am Sockel der Gabel und am Fuße der Kontaktschraube. Ein hoher Lampenwiderstand sorgt dafür, daß die Nebenschließung dem Hauptkreis nur einen geringen Strom entzieht und den Gang der Gabel nicht stört. Solange die leitende Branche mit ihrer Platinspitze die Kontaktschraube berührt, ist überhaupt die Stromstärke im Telephonkreis praktisch = 0; sobald aber jener widerstandsarme und bequeme Weg unterbrochen wird, verteilt sich der Strom nach den Kirchhoffschen Regeln in den Bahnen der beiden Nebenschließungen, des Telephons und des konstanten Seitenwiderstandes. Jede der n Schwingungen setzt sich nun zusammen aus einem Zeitteil t_1, wäh-

rend dem der Kontakt geschlossen, und einem Teil t_2, während dem er geöffnet ist ($t_1 + t_2 = \frac{1}{n}$ Sek.). Das Telephon erhält daher in jedem t_2 einen Stromimpuls und gibt den Ton n.

Die Untersuchung erstreckte sich auf die Töne $C = 128$, $g = 384$ und $e^1 = 640$ Schwingungen. Die Gabel 128 war in der von Helmholtz angegebenen Weise geschaltet; doch besaß sie einen Trocken-

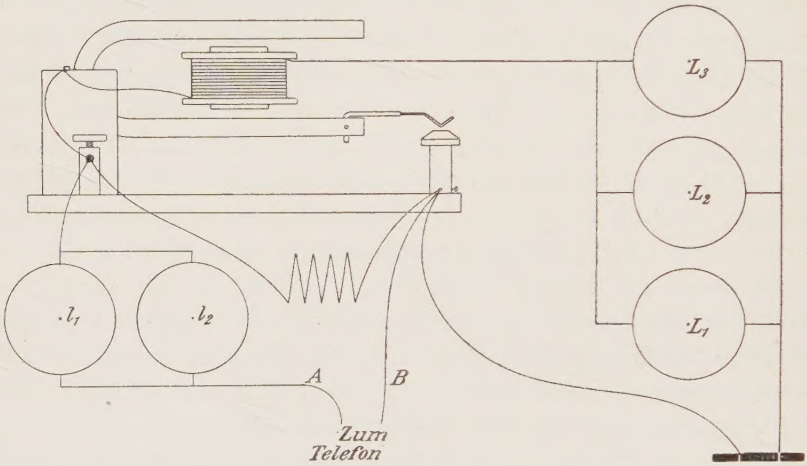

Fig. 1. Verbindung des Telephonstromkreises mit dem Gabelstromkreis.

kontakt. Da nach den Erfahrungen meiner Vorgänger[1]) ein einfacher 0,8 mm dicker Platindraht infolge der großen Amplitude bereits nach kurzer Zeit abzubrechen pflegte, ersetzte ich ihn[2]) durch einen dickeren Eisendraht mit angelöteter sichelförmiger Platinspitze, der monatelang in Verwendung blieb, ohne die geringste Störung zu verursachen. Die Gabeln 384 und 640 waren in der von Klemm (a. a. O.) geschilderten Art mit dreifachen Magneten montiert, indem an die Stelle der Helmholtzschen Nebenschließung zwei zum mittleren antagonistische äußere Magnete traten. Eine dem Telephon parallel gelegte Lampe scheint den Ton noch zu verbessern. 384 war stets leicht in Gang zu setzen und zu erhalten. Dagegen gab

[1]) Rud. Bode, Psych. Stud. Bd. II, 1906. S. 293.

[2]) Nach einem mißlungenen Versuch, den Stromschluß durch seitliches Vorbeistreichen des Gabelfortsatzes an einer vertikalen Kontaktfläche, nicht durch Aufschlagen auf eine horizontale herstellen zu lassen.

640 anfangs auch in der neuen Schaltung nur einen schwachen unbrauchbaren Ton, und zum Antrieb bedurfte es ziemlich gewaltsamer Mittel. Es war indes leicht zu bemerken, daß das ungünstige Verhältnis der Stromstärken in dem Magnetensystem die Schuld daran trug. In der Tat ließ sich sofort durch einmaliges leichtes Anschlagen ein gleichmäßiger starker Gabelton erzielen, als in den Kreis der äußeren Magnete ein variabler (Schiebe-) Widerstand eingefügt wurde; leider stellte sich aber gleichzeitig heraus, daß das Optimum des Gabeltons keineswegs mit dem des Telephonklangs zusammenfällt. Nur an sehr wenigen Tagen gelang es, ein Verhältnis $t_1 : t_2$ herzustellen, bei dem Unterbrechungsvorrichtung und Telephon zufriedenstellend arbeiteten. Der Variationsbereich dieses Verhältnisses war aber äußerst klein, und fast regelmäßig blieb die Gabel in dem Augenblick stehen, wo das Telephon sein Optimum erreicht zu haben schien. — Auch wenn es gelang, eine Reihe von 10 oder 20 Versuchen ohne Unterbrechung zu Ende zu führen, so waren doch die Ergebnisse ziemlich wertlos: die veränderten objektiven Bedingungen ließen keine Beziehung auf frühere Reihen zu, und die subjektive Disposition des Beobachters war nach dem großen Aufwand an Zeit und Geduld natürlich sehr wechselnd. So standen die Versuche mit der Gabel 640 unter wenig günstigen Bedingungen, und die wenigen Versuchsreihen, die ich veröffentlichen kann, geben höchstens über die allgemeinsten Verhältnisse einigen Aufschluß.

III. Die Technik der Reizdarbietung.

1. Um die beiden Reize, die objektiv so große Unterschiede aufwiesen, in rascher Folge darbieten zu können, traf ich die in Fig. 2 schematisch skizzierte Anordnung: Auf dem Tische des Experimentators waren zwei Umschalter U_1 und U_2 so nahe beieinander befestigt, daß sie mit der gespreizten Hand gleichzeitig bedient werden konnten. Zwischen zwei gemeinsamen Stücken der Telephonleitung (von der Gabel zu den Hauptklemmen von U_1 mit dem Vorschaltwiderstand, und andererseits von den Hauptklemmen von U_2 zum Telephon mit dem Milliampèremeter) liegt eine Gabelung der Bahn; der rechte Zweig enthält die Zeitvariation für den Hauptreiz, der linke die Apparate zur Darbietung des Vergleichsreizes. Durch einen Handgriff, das Umlegen der beiden Wippen, wurde dem Strom dieser

oder jener Weg angewiesen, so daß die beiden Reize einander in kürzestem Abstand folgen konnten.

2. Fig. 2 zeigt noch eine weitere scheinbare Komplizierung der Leitungsbahnen, die aber zur exakten Durchführung der Versuche durchaus nötig und wohl durch eine Kondensatorwirkung der langen Leitung bedingt war. Wenn man nämlich den Telephonnebenschluß der in Fig. 1 abgebildeten Anordnung einfach unterbricht, so kommt dadurch nicht etwa das Telephon zur Ruhe; man vernimmt an Stelle des seither erklingenden vollen Tons ein starkes Summen in der

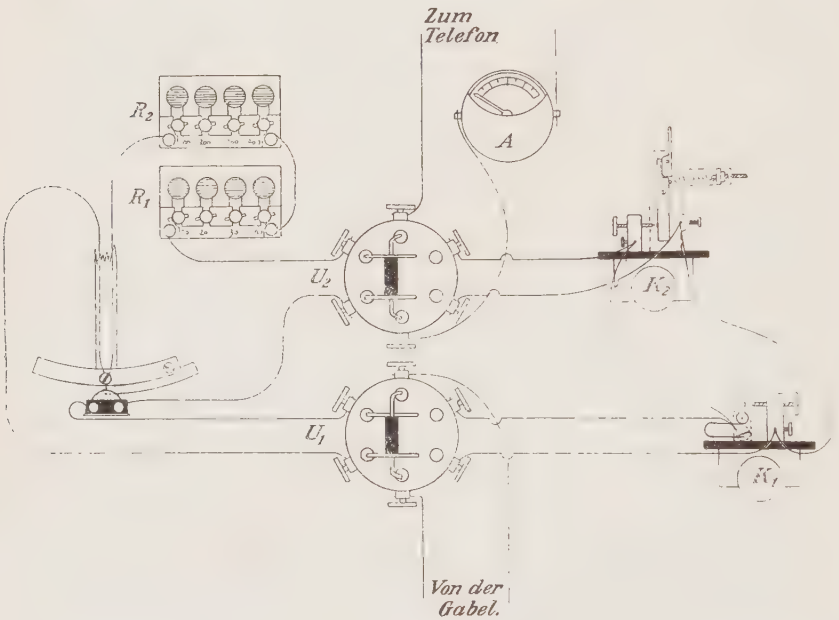

Fig. 2. Schema der Versuchsanordnung.

Tonhöhe der Gabel, obwohl nur ein Draht die Verbindung herstellt. Dagegen führt ein anderer Weg leicht zum Ziel: eine direkte, möglichst widerstandsarme Verbindung der Leitungspunkte *A* und *B*, durch die das Telephon in einen Kurzschluß zu liegen kommt. Die Begrenzung der Reizdarbietung erfolgt dann also nicht mehr durch Schließen und Öffnen eines Stroms, was zunächst als einfachstes Mittel erscheinen möchte, sondern durch Unterbrechung und Wiederherstellung eines Kurzschlusses.

Diese Aufgabe war in jedem der beiden Zweige einem Pendel zugefallen, und zwar für den Haupt- und den Vergleichsreiz in charakteristisch verschiedener Weise. Das Pendel in der Bahn des Vergleichsreizes war selbst ein Teil der Leitung. Der rechte Arm der ankerförmigen Pendelstange trug unten eine feine Stahllamelle, die in den darunter stehenden Quecksilbernapf eintauchte. Der linke Arm konnte bei der Schwingung das Quecksilber nicht berühren. Es war daher Kurzschluß vorhanden, solange die Lamelle mit dem Quecksilber in Kontakt blieb, also während das Pendel an seinem Magneten hing und auch während des ersten und letzten Teils der Schwingung. In der Zwischenzeit aber mußte der Strom den Weg durch das Telephon wählen. Die Dauer des Prüfungsreizes betrug bei allen Versuchen $\frac{7}{10}\,\sigma$.

Das Pendel in der Bahn des Hauptreizes war nicht direkt beteiligt, seine Tätigkeit beschränkte sich auf das Umlegen der Kontakte K_1 und K_2, die auf den beiden im Pendeldrehpunkt konzentrischen und mit Teilstrichen versehenen Schienen fixiert werden konnten[1]). Zur Begrenzung der kürzesten Zeit stand K_1 etwas rechts

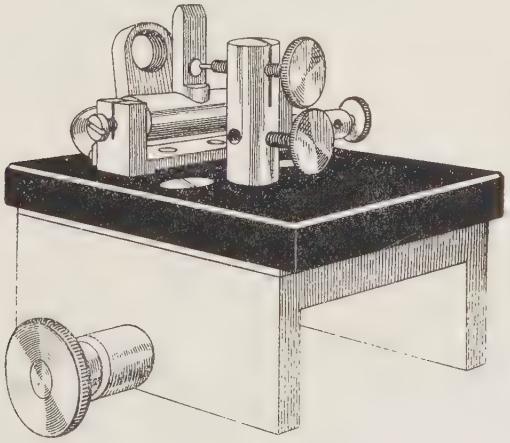

Fig. 3. Der Unterbrechungskontakt K_1.

vom Nullpunkt der unteren, K_2 etwas links von dem der oberen Schiene. Größere Zeiten wurden hergestellt, indem zuerst K_2 etappen-

[1]) Abbildung des Pendels in Psych. Stud. Bd. IV, S. 509 bei Arps und Klemm: Der Verlauf der Aufmerksamkeit bei rhythmischen Reizen.

weise bis ans linke Ende seiner Schiene rückte; dann K_1 ebenso bis ans rechte Ende der unteren. Die längste hierdurch erreichbare Zeit betrug aber nur 615 σ; es war daher eine Vorrichtung nötig, die eine

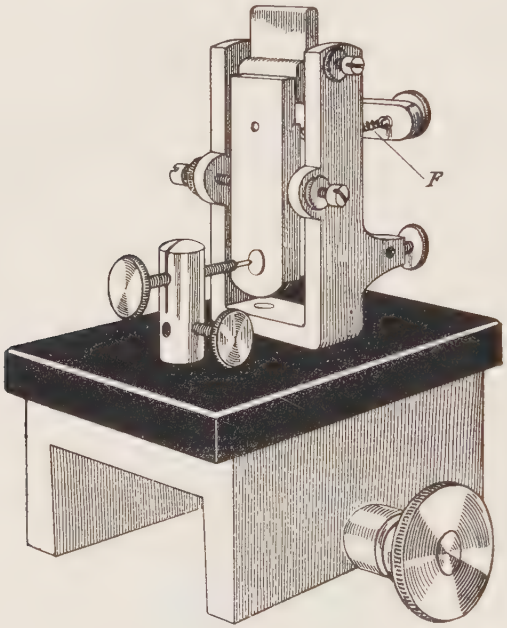

Fig. 4. Der Schließungskontakt K_2.

Verlängerung der Darbietungszeit gestattete. Für solche Versuche wurde der starre Auslöser, der den oberen Hebel im Kontakt K_2 umlegte, durch einen beweglichen ersetzt (Fig. 5), einen zweiarmigen Hebel, dessen Spitze über K_2 ohne Berührung hinstrich, solange auf sie nur die Feder vertikal nach oben wirkte. Um nach einer beliebigen Zahl von Pendelschwingungen die Spitze zu senken und dadurch den Kontakt umzulegen, brauchte man nur den Stromkreis des im Gegensinne wirkenden Magneten zu schließen[1]).

[1]) Diesen kleinen Apparat und die beiden Kontakte fertigte Mechaniker Zimmermann nach den Angaben von Herrn Prof. Wirth. K_1 ist ein einfacher Unterbrechungskontakt; das Pendel entfernt den einarmigen Hebel von der gegenüber fixierten Platinspitze und hebt dadurch den Kurzschluß auf (Fig. 3). K_2, ein Schließungskontakt, stellt ihn wieder her; er konnte auf seinem Hartgummifuß um 180° gedreht werden, war also bei Hin- und Rückgang des Pendels brauchbar. Sobald der obere

3. Im linken Zweig des Leitungsschemas Fig. 2 sind schließlich noch 2 Stöpselrheostate zu bemerken, die einen Gesamtwiderstand von 1100 Ohm ergeben. Mit den 8 vorhandenen Wickelungen (10, 20, 30, 40, 100, 200, 300, 400 Ohm) war ein Fortschreiten von 10 zu

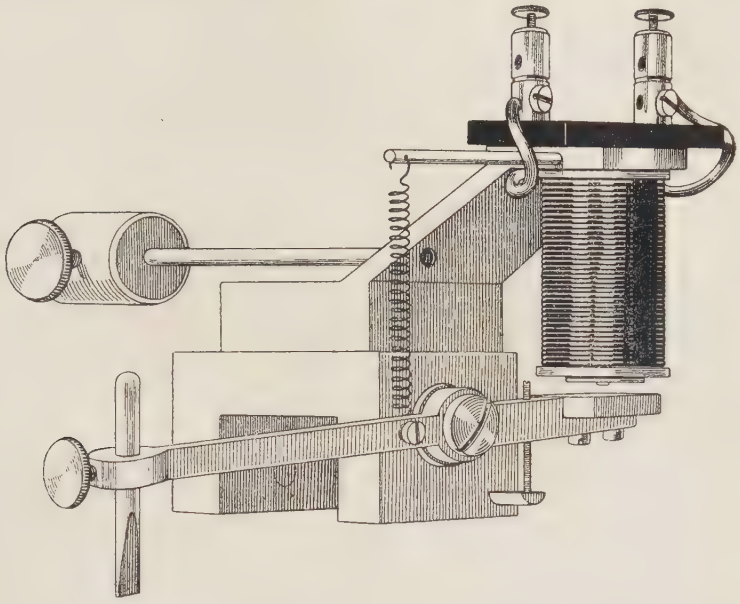

Fig. 5. Beweglicher Kontakt-Auslöser (Pendelaufsatz) für Zeiten über 615 σ.

10 Ohm, also eine sehr fein abgestufte Intensitätsvariation möglich. Bei Bedarf wurde der Widerstand durch Einschaltung von Lampen vergrößert.

IV. Die Ausführung der Versuche.

Die oben geschilderten Apparate waren auf einem Tisch im Zimmer des Experimentators übersichtlich und handlich angeordnet. Zu dem entfernten Raum des Beobachters führten zwei Drähte, an die dort das Telephon angeschlossen war. Die beiden Räume sind außerdem durch eine Haustelephonanlage verbunden, doch wurden hauptsächlich die daran befindlichen elektrischen Klingeln auf Grund der verabredeten

---

der beiden zweiarmigen Hebel (Fig. 4) zur Seite geschleudert war, wirkte die Kraft der Feder F ungehindert und preßte den unteren Hebel an die gegenüberstehende leitende Spitze.

Signale zur Verständigung benutzt. — Nachdem der Stadtstrom eingeschaltet und die Gabel in Gang gebracht war, überzeugte sich der Beobachter von der Güte des Telephonklangs, während gleichzeitig der Experimentator an dem Milliampèremeter A die Stromstärke ablas. Dann wurde die Dauer des Hauptreizes für die folgende Reihe durch Aufschrauben der Kontakte K_1 und K_2 an bestimmten Punkten ihrer Schienen geregelt. Um die Pausen zwischen Vorsignal, 1. und 2. Reiz möglichst gleichmäßig zu gestalten, führte der Experimentator die Handgriffe taktmäßig aus, nötigenfalls nach dem Schlage eines Metronoms.

Auf 1, rechte Hand, das Vorsignal (Kurzer Klingelschlag)
Auf 4, linke Hand, Niederdrücken des ersten Tasters, das erste Pendel fällt. (Erster Reiz),
Auf 6, rechte Hand, Umlegen der Wippen.
Auf 7, linke Hand, Niederdrücken des zweiten Tasters (Zweiter Reiz).

Die Zwischenzeit betrug annähernd 3 Sekunden [1]). Dann wurden die Wippen und die Kontakte K_1 und K_2 in die Anfangslage zurückgebracht und das Urteil des Beobachters seinem Signal entsprechend und unter Beifügung der Versuchsnummer in die Tabelle eingetragen, die in der ersten Kolonne die verwendeten Widerstände angab. Auch die Versuchsperson zeichnete ihr Urteil unter der laufenden Nummer in feiner Differenzierung auf; somit konnten die Signale auf die einfachen Formen: größer, gleich, kleiner, unentschieden beschränkt werden und dienten nur als Hinweis für den Experimentator, in welcher Richtung die Variation des Widerstandes für den nächsten Versuch zu erfolgen hatte. — Die ersten gröber variierten Versuche jeder Reihe ermittelten die Zone, in der sich die gr. und kl. Urteile mischten; die genauere Feststellung der Lage des Aequivalenzwertes gestaltete sich dann infolge der oben (S. 9) erwähnten Verhältnisse bei den einzelnen Gabeln verschieden. Bei 3 Gruppen (Gr. I: Gabel 128 geringere Stärke der Reize, Gr. II: Gabel 128 größere Stärke der Reize, und Gr. IV:

[1]) Auch bei den längsten Hauptreizen, wo deshalb die Reihe entsprechend verlängert werden mußte; hierbei war ein weiterer Handgriff (Einschaltung des Magneten an der Schleudervorrichtung Fig. 5) erforderlich, um den Hauptreiz zur festgesetzten Zeit abzubrechen. — Beurteilt wurde stets der an zweiter Stelle gebotene Reiz.

Gabel 384 größere Stärke der Reize) gelang es leichter, an verschiedenen Versuchstagen die gleichen objektiven Bedingungen herzustellen, wie die Kontrolle am Amp. bewies. Die zur Bestimmung einer Anstiegskurve nötigen Versuche konnten also auf mehrere Tage verteilt, d. h. zur Bestimmung jedes einzelnen Punktes konnte eine große Anzahl von Versuchen gemacht werden. Ganz von selbst ergab sich hierbei die Methode der Minimaländerungen, die auch eine genaue Feststellung der Schwankungsbreite ermöglicht.

Bei den anderen Gruppen (384 gering. St. und 640) ließ sich eine zureichende objektive Konstanz nicht erzielen, so daß hier die Bestimmung aller Punkte der Kurve im Zusammenhang vorgenommen werden mußte; die Zahl der Versuche wurde vermindert, die Abstufungen etwas gröber gewählt. Aus solchen Tabellen läßt sich der Aequivalenzwert noch ziemlich sicher berechnen, über die Schwankungsbreite dagegen kann nicht immer eine positive Aussage gemacht werden; eine genügende Grundlage für deren Berechnung bietet das Zahlenmaterial nur bei großer Übung der Versuchsperson, da hier jedem einzelnen, besonders jedem Fehlurteil eine ungleich größere Bedeutung zukommt. (Vgl. unten V, 2 a.)

Die meisten Reihen stammen von mir; in den beiden letzten Semestern stellte sich mir Herr stud. phil. v. Andreae als trefflicher Beobachter zur Verfügung. Ihm und meinen zahlreichen zuverlässigen Experimentatoren danke ich nochmals herzlich für ihre Teilnahme an meiner Arbeit.

V. Die Behandlung der Versuchsresultate.

Die Protokolle des Experimentators und des Beobachters wurden mit einander verglichen und in eines zusammengezogen, das nun in doppelter Hinsicht durchgearbeitet werden mußte.

1. Die Dauer des Hauptreizes für jede Reihe war darin noch nicht in Bruchteilen von Sekunden ausgedrückt, sondern in anschaulicher Weise durch die Angaben: $-1+3$; $-15+17$, u. s. f., aus der ohne weiteres nur die Stellung der Kontakte auf ihren Schienen ersichtlich war [1]). Die Messungen der entsprechenden Einwirkungs-

[1]) Um ein rasches und genaues Wiederauffinden der alten Stellung zu ermöglichen, wurde die Ablesung am linken Rand des Kontaktunterbaues vorgenommen. Die Stromunterbrechung bei K_1 fand bereits 1,3, die Schließung durch K_2 2,4 Teilstriche früher statt, was später bei der Berechnung berücksichtigt werden muß.

dauer des Reizes mit einem Hippschen Chronoskop ergaben zwar gleichmäßige, doch durchaus unwahrscheinliche Zeitwerte. Alle schienen mit einem konstanten Fehler behaftet, der sich aus der Diskrepanz zwischen der Einrichtung des an sich sehr genauen Apparates und meiner durch die Anordnung bedingten Verwendungsweise desselben genügend erklärt. Um sicher zu gehen, führte ich eine Berechnung der verwendeten Zeiten aus der Stellung der Kontakte durch.

Mit einer Fünftelsekundenuhr bestimmte ich mehrmals die Zeit für 20 Doppelschwingungen des Kontaktpendels und fand durch Division für einen Hingang des Pendels die Zeit von 880 σ; es bestreicht dabei einen Sektor mit dem Winkel 24° und passiert 30 Teilstriche auf der oberen, 41,6 auf der unteren Schiene. Daraus ergibt sich

zu jedem Teilstrich der oberen ein Winkel von 48′,

zu jedem Teilstrich der unteren ein Winkel von etwa 34′ 37″.

Da K_2 nur die linke, K_1 nur die rechte Hälfte seiner Schiene benutzt, so zerlege ich den Winkel 24° in seiner linken Hälfte in 15 Winkel zu 48′, in seiner rechten in 20,8 Winkel zu beinahe 34′ 37″. Die Zeit, die ein in beliebiger Entfernung r vom Drehpunkt angenommener Pendelpunkt gebraucht, um über eine bestimmte Anzahl solcher kleiner Sektoren, von A bis B, hinwegzustreichen, läßt sich in der bekannten Art auf einem Halbkreis über der zu r gehörigen Sehne s darstellen; sie entspricht dem Bogen t, der abgegrenzt wird, wenn man die Lote von A und B auf die Sehne s bis zum Schnitt mit dem Halbkreis verlängert. Nach Berechnung des zugehörigen Zentriwinkels α ist $t = \frac{\pi \cdot s\alpha}{360}$ und verhält sich zum Halbkreis, wie die gesuchte Zeit T zu 880 σ. Also $T = \frac{\alpha}{180} \cdot 880\ \sigma$.

Die so gewonnenen Werte waren augenscheinlich weit zuverlässiger, als die des Chronoskops; doch bedurften sie noch einer kleinen Korrektur, da der evtl. Einfluß der Pendelmagneten und des immerhin etwas Hemmung verursachenden Kontakts K_1 nicht in Rechnung gezogen war. Es blieb nun noch die Möglichkeit einer graphischen Eichung, die zwar früher mit einem älteren Apparat gleich der chronoskopischen nur unbefriedigende Resultate geliefert hatte, nun aber mit dem von Salow beschriebenen neuen Modell des Wundtschen Chronographen

mehr Aussicht auf Erfolg bot[1]). Ich maß in mehrfach wiederholten Versuchen 8 Zeiten von sehr verschiedener Länge. An Stelle des Telephons wurde der Magnet des einen Schreibers eingeschaltet. Die Dauer des Stromschlusses kam daher in der Dauer der Ablenkung des Schreibers aus seiner Ruhelage zum Ausdruck und war durch Abzählen der Wellen einer Stimmgabel von 500 Schwingungen sehr genau zu bestimmen. Diese 8 Werte zeigten gegenüber denen der Rechnung durchgängig einen Mehrbetrag von 14 bis 18 σ. Ich entnehme also die Werte der übrigen 10 Zeiten der Tafel der berechneten Zahlen nach einer mittleren positiven Korrektur von ca. 16 σ.

2. Die Stärke des Vergleichsreizes muß ebenfalls indirekt aus dem Protokoll ermittelt werden.

a) Die rechnerische Behandlung der Urteile.

In jeder Versuchsreihe wurden mit der konstanten Empfindungsintensität, die der Normalreiz in einer bestimmten Einwirkungsdauer erzeugte, verschiedene Stärkegrade verglichen, die dem Prüfungsreiz durch Einschaltung von Widerstand gegeben werden konnten. Die Verteilung der gr., = und kl. Urteile zeigt folgendes Beispiel.

Tonhöhe 128. Einwirkungsdauer des Hauptreizes 245 σ. Die Stärke des Vergleichsreizes nimmt umgekehrt proportional dem eingeschalteten Widerstand ab.

	Absolute Urteilszahlen				Prozentuale Urteilszahlen		
Ω	gr	=	kl	$S_{\bar{a}}$	gr	=	kl
150	8			8	100		
180	10	3	2	15	67	20	13
200	6	3	4	13	46	23	31
220	2	2	4	8	25	25	50
250	1	1	8	10	10	10	80
280			8	8			100

Mit der Schwächung des Prüfungsreizes nimmt die Prozentzahl der gr. Urteile stetig ab, die der kl. Urteile zu. Gleichheitsurteile werden relativ selten, doch bei verschiedenen Intensitätsgraden gegeben, so daß eine Gleichheitszone ohne bedeutenderes Maximum besteht.

[1]) Wundt, Phys. Psych.5 III, 406; Salow, Psych. Stud. IV, 530.

Zur Bestimmung des Aequivalenzwertes können nun die Unterschiedsschwellen verwendet werden, die da anzunehmen sind, wo die Zahl der größer- resp. kleiner-Urteile 50 % aller abgegebenen Urteile beträgt, d. h. wo der Unterschied eben merklich wird. In unserem Fall werden diese Grenzwerte bei Einschaltung von 196,25 resp. 220 Ohm erreicht, wie sich durch Rechnung aus der mitgeteilen prozentualen Verteilung der Urteile ergibt. Die entsprechenden Intensitäten sind nach der in Abschnitt *b* geschilderten Weise zu berechnen, ihr arithmetisches Mittel darf als Repräsentant der Gleichheitszone gesetzt werden. Dieses Verfahren ist demnach nur anwendbar, wenn die beiden Schwellenwerte selbst geprüft oder durch Interpolation einwandfrei festgestellt werden konnten. Bei einigen Gruppen (Gr. III und V, vgl. S. 17) war das nicht möglich, doch kann hier immerhin der ungefähre Aequivalenzwert m angegeben werden; er ist nach Abschnitt *b* zu ermitteln, wenn die ihm korrespondierende Widerstandsgröße w bekannt ist. Diese wurde auf 2 Arten berechnet:

1. Ein Wert w_1 ergibt sich aus der Verteilung der Gleichheitsfälle, nach dem Schwerpunktsverfahren; in unserem Beispiel 207,68 Ohm.

2. Das Urteil = wird, namentlich bei sehr verschiedener Dauer der beiden Reize, nur selten gegeben. Ich suchte daher auch die bei gleicher Stärke des Prüfungsreizes abgegebenen, einander widersprechenden größer- und kleiner-Urteile zur Bestimmung des Aequivalenzwertes zu verwerten. Die schwierige theoretische Frage, mit welchem Gewicht eine solche Kombination zweier widersprechender Urteile in die Rechnung eingesetzt werden soll, darf hier unerörtert bleiben. Es kämen dafür die Werte 1 oder 2 oder ein dazwischen liegender Wert in Betracht, doch ergäbe sich bei meinen Berechnungen kein wesentlich verschiedenes Resultat. Ich nahm daher überall an, daß je 2 widersprechende Urteile einem Gleichheitsurteil äquivalent seien, addierte die so bei den verschiedenen Größen des Prüfungsreizes gefundenen Zahlen zu den direkten Gleichheitsfällen, und bestimmte abermals das arithmetische Mittel. Im vorliegenden Fall ist dieser Wert w_2 = 208,48 Ohm. Auch sonst fiel w_2 fast stets mit w_1 sehr nahe zusammen[1]), es wurde daher bei der späteren Darstellung überall zugrunde gelegt.

---

[1]) Z. B. Tonhöhe 384. In der ersten Spalte die Einwirkungsdauer des Haupt-

b) Die Bestimmung der zugehörigen Tonstärke.

Der so gewonnenen Widerstandsgröße entspricht eine bestimmte Stromstärke A, deren Quadrat nach dem oben Gesagten als Maß der Intensität des Tons gelten darf. Die einfache Ablesung am Milliampèremeter hätte aber die verschiedenen (besonders die kleineren) Werte von A selbst unterm Mikroskop nicht mit der nötigen Feinheit ergeben. Ich beschloß daher auch hier an der Hand einiger empirischer Daten von möglichster Exaktheit den Weg der Rechnung einzuschlagen. Es lag das um so näher, als die Reduktion der Normalstärke des Telephonstroms auf einen Einheitswert von 10 Milliampère für alle drei Tonhöhen, die Quadrierung der Maßzahl usw. ohnedies weitgehende rechnerische Operationen nötig machte, die einen evtl. Messungsfehler noch beträchtlich vergrößert hätten. — So wurden bei jeder Gabel möglichst genaue und öfters wiederholte mikroskopische Ablesungen der Telephonstromstärke vorgenommen, während der Widerstand im Zweig des Lamellenpendels um je 100 Ohm wuchs; noch bessere und nahezu fehlerlose Resultate ergab das umgekehrte Verfahren, wobei man durch möglichst feine Abstufung des Widerstands den Zeiger des Ampèremeters der Reihe nach mit den einzelnen Teilstrichen genau zur Deckung brachte. Auf diese Weise entstand eine Anzahl Funktionen, die graphisch dargestellt mit großer Genauigkeit eine gleichseitige Hyperbel [1]) ergaben, bezogen auf das Koordinatensystem $y = y_1$; $x = x_1 - q$. Dabei bedeutet x den variablen Widerstand W_v des Stöpselrheostaten, die Konstante q den Widerstand W_k der übrigen Leitung, die abhängig Veränderliche y die

reizes unter I und II die entsprechenden Intensitätswerte des Vergleichsreizes, auf beide Arten nach Abschnitt b berechnet.

σ	I	II
95	8,66	8,65
145	15,14	15,18
195	21,36	21,30
245	29,87	29,75
315	38,23	39,06
395	55,87	56,25
580	74,2 !	71,41 !
615	85,75	87,89

[1]) Als Beispiel wie genau im allgemeinen die Ablesungen gemacht werden konnten, und wie leicht trotzdem einmal ein Wert aus der Reihe herausfiel, gebe ich die Werte der Ablesungen und der Berechnung für Gabel 128; als Anfangsstrom ist 10 Milli-

Stromstärke A. Die Gleichung der gleichseitigen Hyperbel: $x_1 \cdot y_1 = k$ gestaltet sich demnach so: $(x + q) \cdot y = k$, oder $(W_k + W_v) \cdot A = k$, woraus sich die Stromstärke A berechnet zu: $A = \frac{k}{W_k + W_v}$.

Da die Funktion für mehrere Größen von A vorliegt, kann zunächst die Konstante W_k und dann die Konstante k angegeben werden.

W_k ergab sich für Gabel 128 = 200 Ohm.
» » 384 = 300 »
» » 640 = 770 »

Um einen einheitlichen Maßstab für die Ordinaten zu erhalten, setzte ich die Normalstromstärke des Telephons bei allen drei Gabeln = 10, wobei $k = 10\ W_k$ wird und die Gleichung $A = \frac{10\ W_k}{W_k + W_v}$ entsteht. —

Natürlich wurde zu jedem Werte W_v sofort das allein wichtige Quadrat von A bestimmt, das mit Hilfe der Logarithmen rasch und bequem aus dem Ansatz zu erhalten ist. Zu dem Vorzug größerer Exaktheit, den die Berechnung gegenüber der Ablesung aufwies, gesellt sich also der weitere einer leichteren Handlichkeit und beträchtlichen Zeitersparnis.

---

ampère angenommen, d. h. die Werte der Messung (Anfangsstrom = 18 M A) sind auf $\frac{10}{18}$ reduziert:

Widerstand Ohm	Stromstärke abgelesen	berechnet
0	10,0	10,0
100	6,6	6,6
200	— 5,0	5,0
300	+ 3,9	4,0
400	3,3	3,3
500	2,77 NB!	2,857 NB!
600	— 2,5	2,5
700	— 2,2	2,225
800	1,95	2,0

Weit größere Fehlerquellen noch als die Ablesung am Ampèremeter birgt die Messung der gesuchten Ordinaten an einer Kurve, die auf Grund einiger Ablesungen in Millimeterpapier eingezeichnet ist; für meine Untersuchung kam daher diese zur ersten Orientierung ganz brauchbare Methode überhaupt nicht in Betracht.

VI. Ergebnisse.

1. Das Beobachtungsmaterial.

Ehe ich im folgenden die Resultate meiner Beobachtungen gebe, muß aus der Reihenfolge ihrer Ausführung die Unvollständigkeit einiger Gruppen erklärt werden.

Nach Vollendung der Anordnung und Ausführung der Vorversuche wurde im S. S. 1908 Tab. IV gewonnen. (Gabel 384, größere Stärke der Reize.) — Dann folgten die Versuche mit Tonhöhe 128. Tabelle I mußte abgebrochen werden, weil bei einem Eichungsversuch das Telephon von einem zu starken Strom durchflossen und zerstört wurde. — Tabelle II gibt die mit einem neuen Telephon gewonnenen Resultate. Obwohl die Schaltungs- und Stromverhältnisse dabei unverändert geblieben waren, scheint doch infolge der Beschaffenheit des Telephons bei II der Ton eine größere Stärke besessen zu haben. Der zahlenmäßige Befund fügt sich widerspruchslos dieser natürlich nicht auf eine direkte Vergleichung, sondern auf den subjektiven Eindruck der Versuchspersonen gegründeten Annahme.

Bei diesen 3 Gruppen war es infolge der Konstanz der objektiven Bedingungen (S. 16) möglich, die Ergebnisse verschiedener Versuchstage in eine Tabelle zusammenzuziehen. Einige nicht sehr bedeutende Abweichungen sind gesondert angegeben (Tab. I).

Dann wurde Gabel 640 verwandt. Ehe die zweite Kurve (Darbietung der Reize in der Folge: Vergleichsreiz, Normalreiz, also umgekehrte Zeitlage) beendet war, wurde auch das für 640 eigens angeschaffte Telephon unbrauchbar. Wegen der oben geschilderten Schwierigkeiten unterblieb die Vollendung dieser Gruppe. Ich kehrte zu 384 zurück, um den Anstieg auch bei geringerer objektiver Stärke der Reize zu prüfen. Tabelle III. Der Unterschied tritt deutlich hervor.

Bei allen Tabellen enthält die oberste Zeile die Einwirkungszeiten des Hauptreizes in $\frac{1}{1000}$ Sekunden; die folgenden Reihen geben die dazu gehörigen Intensitäten im Mittelwert nach der Berechnung. — Das Zeichen + an Stelle einer Zahl deutet an, daß mehr als die Hälfte der Urteile $N > V$ lautete, während beide Reize objektiv gleich stark waren. An diesen Stellen ist der Wert $\mathcal{Y} > 100$. Die

Zeitlage ist durch die vorangesetzten Buchstaben bezeichnet: *N V* bedeutet die erste Zeitlage, Normalreiz, Vergleichsreiz; *V N* die umgekehrte Folge. Beobachter: Sander und von Andreae.

Ein anschauliches Bild der Anstiegsverhältnisse gibt die graphische Darstellung in einem Koordinatensystem, auf dessen Abszisse die Zeiten und auf dessen Ordinate die Intensitäten aufgetragen sind. Die ausgezogene Linie stellt den Verlauf der Mittelwerte bei der Zeitlage *N V*, die Strichkurve bei *V N* dar. Die Schwankungsbreite bei den beiden Zeitlagen ist durch eckige und runde Klammern angedeutet ( ).

Gabel 128.

Tabelle I, dazu Fig. 6.

Geringere Stärke der Reize.

Beob. *S.*

Zeiten in σ:	35	55	95	145	195	245	315	425	465	530	615
N V	2,37	3,46	6,93	10,58 13,22	17,73 20,66	24,03	33,6	44,45	59,64	68,19	70,45
V N	4,68	8,78		39,06	51,02		64,0				94,54

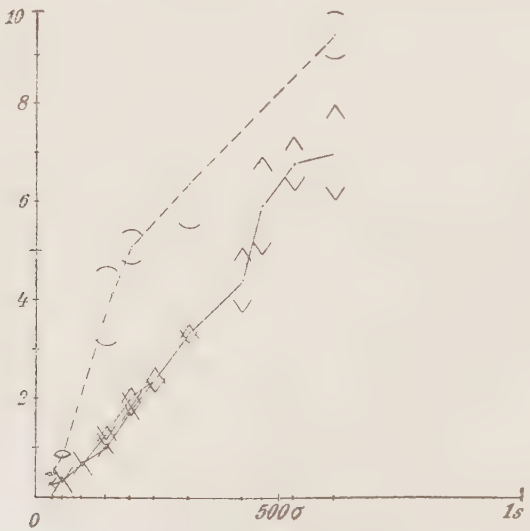

Fig. 6, zu Tabelle I: Ton 128, geringere Stärke.

Zeitlage *N V* ——————— Schwelle

» *V N* — — — — — — »

Tabelle II, dazu Fig. 7.

Größere Stärke der Reize.

Beob. *S.*

σ:	35	55	95	145	195	245	395	465	925	1110	1450	1795	2075
NV		7,21		21,14			61,51	68,19	+	90,7	+	+	+
VN	4,68	11,89	18,9	28,45	36,73	44,45	67	75,61	+	+	+	+	+

Fig. 7, zu Tabelle II: Ton 128, größere Stärke.

Tabelle A., dazu Fig. 8.

Beob. *v. A.*

	σ:	55	95	145	315	465	615	925	1110	1450	1795
Zu I.	*N V*		19,75		49,25		69,45				
	V N				79,01		93,35				
Zu II.	*N V*	7,38		40,9		89,0	92,9	+	94,09	+	+
	V N	9,47		43,5		+	97,06	+	+	+	+

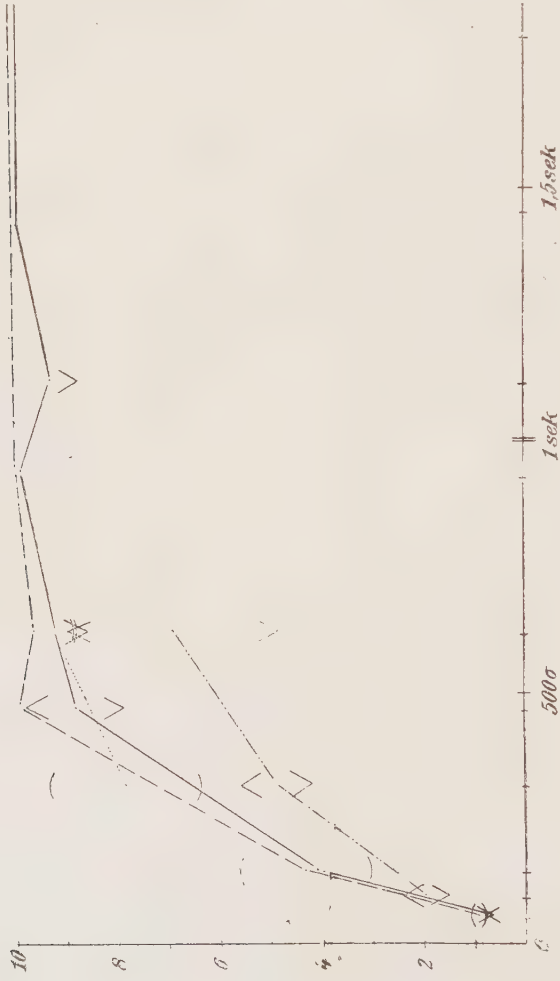

Fig. 8, zu Tabelle A.: Ton 128 Beob. *v. A.*
I. Geringere Stärke: *NV* — · · — · · — *VN*.....
II. Größere Stärke: *NV* ———— *VN* — — —

Gabel 384.

Tabelle III, dazu Fig. 9.

Beob. *S.* — Geringere Stärke der Reize.

Zeiten in σ:	(25)	35	55	95	145	195	245	315	395	465	530	615	925	1110
1.										65 90,13		70,2 93,05		
2.	1,78	2,04	4,27											
3.				9,09 30,3	14,06									
4.					11,76 32,04									
5.		6,25	14,24	29,54		49,83								
6.					37,33			70,62						
7.						29,75				69,8				
8.			4,4				25,86 54,6	35,01 65,74						
9.			4,43 7,6											
10.						24,2 33,28								
a)				7,94	7,79	21,3		32,9			64	78,78		+ 92,5
b)								36			85,7	69,84		+ +
I. *N V.*				8,65	15,13	21,3	29,75	39,06	56,25		71,4	87,89	+	+
II. *V N.*		4,73	8,57	12,76	23,41	39,06	46,49	53,54	65,74	71,4			+	

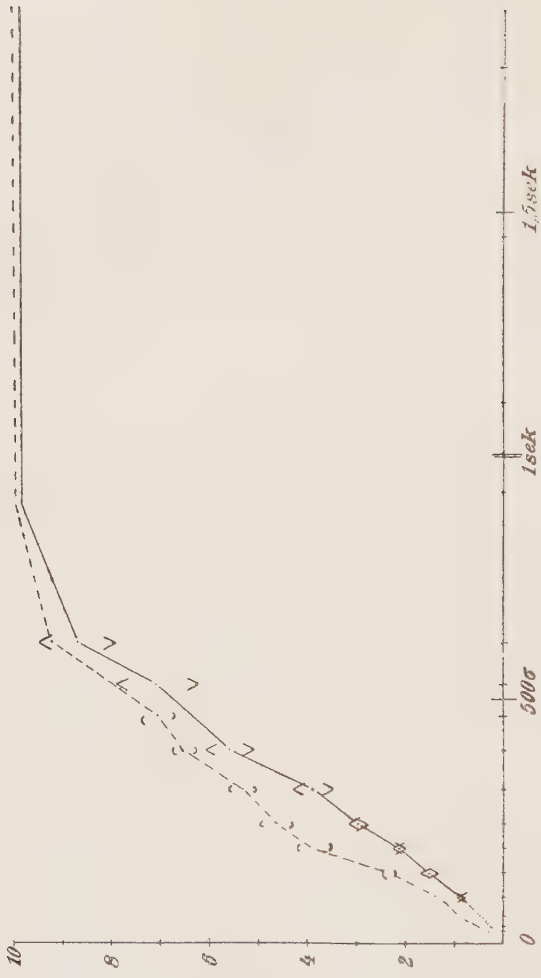

Fig. 9, zu Tabelle III: Ton 384, geringere Stärke.

Tabelle III soll an einem Beispiel die Notwendigkeit und zugleich die Durchführung der S. 9 geschilderten Arbeitsweise erläutern. Die Zeilen 1—10 stellen die Ergebnisse von 10 Versuchstagen dar. Das Bild, das sich aus den einzelnen Reihen ergibt, ist im wesentlichen gleichartig; doch können direkt nur die Werte derselben Zeile aufeinander bezogen werden. Die Zahlen in *a* und *b* stehen untereinander nicht im Zusammenhang, sie sind vereinzelt gewonnen und lassen

keinerlei Schlüsse zu. Endlich gibt Zeile I eine einheitliche Reihe für die erste, Zeile II für die zweite Zeitlage [1]).

Bei der graphischen Darstellung wurden diese zusammenhängenden Ergebnisse verwendet. Für die kürzesten Zeiten I *N V*, jedenfalls für 55 σ, durften die unter 2 gefundenen Werte ergänzend eintreten. Bei II *V N* wurde die nach 615 σ erreichte Intensität, deren Bestimmung infolge der großen Ermüdung der Versuchsperson unterbleiben mußte, willkürlich, doch nach Analogie aller anderen Kurven und mit einem früher gefundenen Wert angenommen.

Tabelle IV, dazu Fig. 10.

Beob. *S.* Größere Stärke der Reize.

σ:	35	55	95	145	175	235	355	450	615
N V.		11,1	18,5		25,0	43,5	74,3		
V N.	13,5	25		65	73,5	81,6	86,3	93,7	96,12

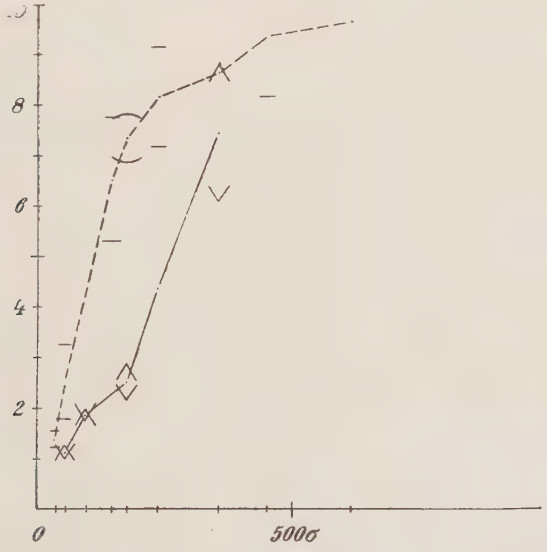

Fig. 10, zu Tabelle IV: Ton 384, größere Stärke.
Überschwellig bei Zeitlage *VN* ÷

---

[1]) Bei allen übrigen Zeilen sind diesmal die *N V* Werte in der linken, die *VN* Werte in der rechten Spalte der zu jedem Zeitwert gehörenden Vertikalkolonne eingetragen.

Gabel 384 geringere Intensität.

Beob. *v. A.* Tabelle B, dazu Fig. 11

σ:	55	145	245	395	465	615	925	1450
N V	12,3	25	51	62,3	73,5	85,2	100	+
V N	12,5	30,5	59,8	78,8	87,9	93,0	+	+

Fig. 11, zu Tabelle B: Ton 384, geringere Stärke. Überschwellig bei Zeitlage *NV*: [·] Beob. *v. A.*

Gabel 640.

Beob. *S.* Tabelle V, dazu Fig. 12.

σ:		55	75	95	145	245	395	530	615
NV	1	9	—	—	25,49	41,89	70,05	78,3	88,18
	2	—	13,34	17,17	—	—	—	—	91,49
	3	—	—	23,54	26,71	51,79	74,85	—	93,8
VN	1	—	—	46,4	48,12	—	78,3	—	—
	2	—	14,45	—	—	56,87	—	—	—

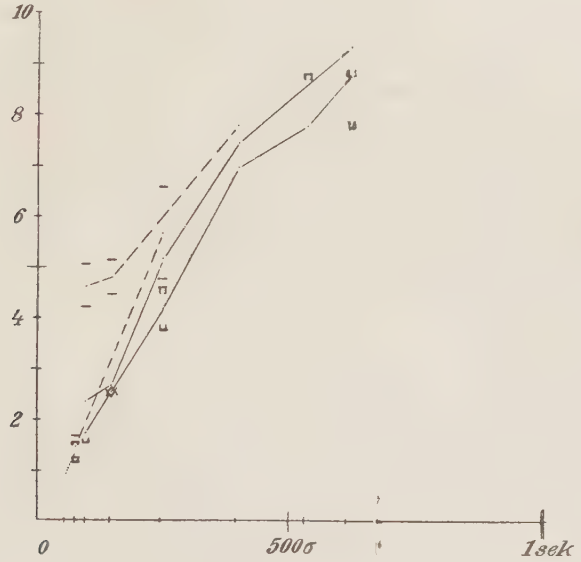

Fig. 12, zu Tabelle V: Ton 640.

In Tabelle V stimmen die drei Reihen für *NV* gleichfalls gut überein, 1 und 2 ergänzen sich sogar ohne weiteres. Die für *VN* gefundenen Werte sind aus den erwähnten Gründen ungenügend.

Die folgenden Tabellen enthalten als Ergänzung die Angabe der Schwankungsbreite für jeden einzelnen Mittelwert. Wie die beiden Schwellenwerte gefunden werden, ist bereits S. 20 geschildert; das Verhältnis der halben Differenz der Grenzwerte zum Mittelwert selbst gibt dann (im Mittel) die relative Intensitätszu- oder abnahme an, bei der der Unterschied eben merklich wird. Diese mittlere Unterschiedsschwelle ist hier in Prozenten für alle Werte angegeben, bei denen sich die Berechnung der Grenzwerte durchführen ließ. Wo aber die

Interpolation auf Grund des vorliegenden Materials allzu gewagt erschien, ersetzte ich die unsichere positive Angabe durch eine mehr negative: eine Zahl in Klammern, z. B. (— 19) bedeutet, daß der Unterschied bereits übermerklich war (also 51 bis 100 % gr. resp. kl. Urteile), wenn der mittlere Äquivalenzwert um **19 %** seiner Intensität verstärkt oder geschwächt dargeboten wurde. Ein beigefügtes *o* oder *u* zeigt an, daß nur die obere oder untere Unterschiedsschwelle bestimmt werden konnte.

Beob. Sander.

Zeitlage: *N V.*

σ	I	II	III	IV	V 1 u. 2
35	8	—	—	—	—
55	6	7	—	11	—
75	—	—	—	—	(— 16)
95	6	—	4	6	(— 11) u
145	10 4	7	12	—	3,3
175	—	—	—	14	—
195	10 5	—	6	—	—
245	10	—	7	—	(— 10)
315	6	—	11	—	—
355	—	—	—	18	—
395	—	17 u	9	—	—
425	15	—	—	—	—
465	17	10	—	—	—
530	8	—	12	—	(— 13) o
615	14	—	9	—	(— 12) u

Zeitlage *V N.*

σ	I	II	III	IV	V 1 u. 2
35	5	—	—	(— 12)	—
55	7	7	—	(— 29)	—
75	—	—	—	—	(— 15)
95	—	6	—	—	(— 9)
145	21	11	6	(— 19)	(— 7)
175	—	—	—	6	—
195	7	17	8	—	—
235	—	—	—	(— 12)	—
245	—	16	7	—	(— 16)
315	14 u	—	5	—	—
395	—	16 u	4	—	—
450	—	—	—	(— 13) u	—
465	—	22 u	5	—	—
615	5	—	—	—	—

Die erste Vertikalspalte gibt die Darbietungszeiten des Hauptreizes, die folgenden die mittleren Unterschiedsschwellen als Ergänzung zu den einzelnen Haupttabellen.

Beob. von Andreae.

	Zeitlage *NV.*			Zeitlage *VN.*		
σ	AI	AII	BIII	AI	AII	BIII
55	—	8	24	—	15	(— 12)
95	23	—	—	—	—	—
145	—	?	(— 17)	—	30	(— 10)
245	—	—	(— 12)	—	—	7
315	14	—	—	19	—	—
395	—	—	(— 23)	—	—	?
465	—	11	16	—	?	?
615	30	7 **u**	17	5 **u**	8 **u**	?

Allgemeinere Schlüsse lassen sich aus den Schwellenbestimmungen hier offenbar nicht ziehen. Im idealen Fall käme vielleicht eine Abhängigkeit der Schwelle und der Unterschiedsempfindlichkeit von der Qualität und Intensität des Tons, von der Zeitlage, von dem Verhältnis der Einwirkungszeiten beider Reize zum Ausdruck; erklärlicherweise treten aber derlei einfache Beziehungen, **wenn** sie bestehen, unter dem Einfluß der wechselnden täglichen Disposition, der Aufmerksamkeitsschwankungen und der wachsenden Ermüdung nicht klar zu Tage. Nur die wohlbekannte Tatsache, daß im allgemeinen die Unterschiedsempfindlichkeit mit der Übung zunimmt, wurde bestätigt.

Als feinste Schwelle fand sich bei Beobachter *S.* einmal 3,3 % oder $^1/_{30}$; dreimal bereits tritt $^1/_{25}$ auf. Als größte etwa $^1/_5$ (18—22 %);

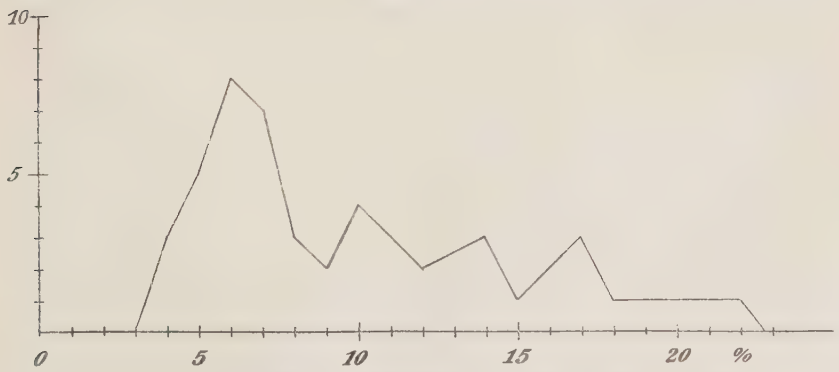

Fig. 13. Darstellung der Häufigkeit der einzelnen Schwellenwerte.

am häufigsten (8 mal) 6% oder etwa $^1/_{17}$. In der vorstehenden Kurve (Fig. 13) sind alle positiven Schwellenbestimmungen des Beobachters *S.* ohne Rücksicht auf Tonhöhe, Intensität und Zeitlage zusammengezogen. Auf der Abszisse sind die Schwellen in % aufgetragen, die Höhe der Ordinate zeigt die Häufigkeit ihres Vorkommens.

Es mag hier angefügt werden, was über die Zeitschwelle zu sagen ist. Die Bestimmung derjenigen Zahl von Schwingungen, welche bei den verschiedenen Qualitäten und Intensitäten gerade genügt, um den Eindruck des Tons hervorzurufen, ist Sache einer besonderen Untersuchung und hängt mit dem vorliegenden Thema nicht direkt zusammen; auch wäre sie nach der hier verwendeten Methode technisch noch nicht exakt durchführbar, da sich bei sehr kurzer Dauer des Stromschlusses an den Telephonton ein leises quakendes Geräusch anschließt, das offenbar das bei so wenigen Stößen unregelmäßige Ausschwingen der Platte begleitet, und das erst ganz unschädlich wurde, wenn der Strom ca. 30—50 σ eingewirkt hatte. Daher konnte die Intensität des eigentlichen, von solchen störenden Beimischungen freien Schalles selbst erst bei etwas längeren Zeiten gemessen werden.

Beobachter *S.* konstatierte ein Tonerlebnis, das die Intensitätsvergleichung einwandfrei zuließ,

für Tonhöhe 128 bei 35 σ = 4,48 Schwingungen
» » 384 bei 35 σ = 13,44 »
» » 640 bei 55 σ = 35,2 »

Die Werte bei 128 und 384 sind, obwohl sie jedenfalls die Zeitschwelle um ein Geringes überschritten haben, kleiner als die Werte, bei denen Bode[1]) »zum ersten Male etwas tonartiges, eine Tonfärbung« feststellte. Er gibt an:

	leise		mittelstark	
Tonhöhe:	σ	Schwing.	σ	Schwing.
128	94,6	12,1088	—	—
384	62,72	24,08	44,5	17,088

Da aber die von mir verwendeten Töne von 128 Schwingungen als sehr stark, die von 384 als stark zu bezeichnen sind, so entspricht die zu Tage tretende Verkürzung der zur Perzeption nötigen Zeit der

[1]) Rud. Bode: Die Zeitschwellen für Stimmgabeltöne mittlerer und leiser Intensität. Psych. Stud. II. Bd., 5. Heft, S. 293.

von Bode bestätigten Regel, daß leise Töne größere Hörzeiten erfordern als stärkere gleicher Qualität.

Die Zeitschwelle für Tonhöhe 640 hat Bode nicht bestimmt. Die verhältnismäßig lange Zeit von 55 σ bei *S.* mag (außer durch die allgemein ungünstigen Bedingungen bei dieser Gabel) durch den Einfluß des wahrscheinlich ziemlich nahe liegenden Eigentones der Membran notwendig geworden sein.

2. Zur Interpretation.

Die scheinbare Einfachheit der Versuchsbedingungen darf uns nicht verleiten, in den vorliegenden Tabellen und Kurven mehr zu sehen als ein ungefähres Bild des Erregungs-Anstiegs. Die Vergleichung der beiden Empfindungen, die sich nach der abstrakten Darstellung so elementar zu gestalten scheint, steht in dem konkreten Fluß des psychischen Geschehens, trotz möglichster Isolierung, unter sehr komplizierten Bedingungen, und die störenden Einflüsse, soweit sie sich nicht eliminieren lassen, müssen wenigstens bei der Deutung sorgfältig berücksichtigt werden[1]). Die genauere Interpretation der Ergebnisse müßte demnach eine erste Gruppe von Tatsachen in Rechnung ziehen, die ganz allgemein bei der Vergleichung zweier Empfindungen beobachtet werden.

Die Auffassung eines Reizes geschieht mit einer bestimmten, seiner Dauer und Stärke entsprechenden Spannung der Aufmerksamkeit. Die Schärfe der Reproduktion beim Vergleich hängt von der Größe dieser Spannung und von der Länge der inzwischen verflossenen Zeit ab; es ist bekannt, daß fast stets der Eindruck sich in der Erinnerung abgeschwächt hat, so daß z. B. die an die Wiederholung desselben Reizes geknüpfte direkte Empfindung meist für stärker gehalten wird. Ich habe die Größe dieser Überschätzung an verschiedenen Tagen und bei verschiedenen Intensitäten zu bestimmen versucht und sie für die Zwischenzeit 3 Sekunden durchschnittlich zu 4—5 % gefunden. Bei den vorliegenden Versuchen kommt der Reproduktionsfehler in der großen Verschiebung des Äquivalenzwertes beim Wechsel der Zeitlage zum Ausdruck. Wird der Normalreiz N an erster Stelle geboten, so scheint der Prüfungsreiz bei einem Wert a

[1]) Vgl. zum Folgenden Wundt, Phys. Psych. III[5], 5.

die gleiche Stärke erreicht zu haben; bietet man nun denselben Vergleichsreiz *a* an erster und denselben Hauptreiz *N* an zweiter Stelle, so wird diesmal *a* in der Reproduktion geschwächt, während *N* als direkte Empfindung jetzt in voller Stärke zur Geltung kommt; daher erscheint nun *a* viel zu klein, zur Herstellung der Gleichheit ist eine Verstärkung des Prüfungsreizes erforderlich. — Auf die Angabe eines Mittelwertes aus beiden Zeitlagen habe ich verzichtet, da er zur Kenntnis des Erregungsanstiegs nichts Wesentliches hinzubrächte, wohl aber geeignet wäre, den charakteristischen psychologischen Befund in überflüssiger und bedenklicher Weise zu verdecken.

Bei den hier mitgeteilten endgültigen Reihen scheint sich die Abweichung der Zeitlage vollständig auf jenen Zeitfehler zurückführen zu lassen; bei den Vorversuchen (mit allen Gabeln) war sie viel größer (vgl. die Kurven I und II oder die entsprechenden Darstellungen auf Tafel A). Ein deutlicher Beweis, daß sich das Verhalten des Beobachters durch die häufige Wiederholung der Versuche in bestimmter Richtung ändert; er muß erst lernen, sich den Bedingungen anzupassen, das Wesentliche zu beachten, das Störende und Unwesentliche zu vernachlässigen. Denn die Aufgabe, zwei Empfindungen rein in Bezug auf ihr Intensitätsverhältnis exakt zu vergleichen, erfordert natürlich viel mehr als die Empfindungsschätzung im täglichen Leben eine ziemlich hoch entwickelte Fähigkeit, von einer Reihe parallel gehender Erlebnisse zu abstrahieren, ohne doch dabei den Vergleichsakt durch einen Zusatz von Reflexion zu fälschen. Auch wenn das gelingt, ist es gar nicht leicht, die Intensität der Eindrücke in voller Schärfe und Klarheit und doch in dem Sinne passiv zu apperzipieren, daß erst nach der Vollendung der Darbietung ein wirkliches Vergleichsurteil gefällt wird; der Zwang, mit einer bestimmten Einstellung den zweiten Reiz zu erwarten, ja die Aussage vorwegzunehmen, ist zunächst unüberwindlich[1]). Dadurch entstehen bald assimilierende, bald kontrastierende Wirkungen, die im Schwanken der Ergebnisse sich empfindlich äußern und die Verwertung dieser Versuchsreihen unmöglich machen. Nach einiger Zeit ist aber der Beobachter imstande, während des einzelnen Versuchs eine möglichst gleichmäßige abwartende Haltung anzunehmen. Erst dann ist die

[1]) Vgl. G. F. Arps: Über den Anstieg der Druckempfindung; 7. Abschnitt. Psych. Stud. IV. S. 431.

Gewähr gegeben, daß alle Fehler der Bewußtseinslage und Einstellung nach Möglichkeit vermieden werden, oder daß, positiv und etwas allgemeiner ausgedrückt, die nötige Übung erreicht ist.

Die Elimination der Einstellungsfehler und ihr Korrelat, die wachsende Übung, gewinnen noch höhere Bedeutung unter den speziellen Bedingungen der Anstiegsuntersuchung und leiten zu einer zweiten wichtigen Gruppe von Faktoren über, die in den Eigenheiten der Methode, den besonderen Verhältnissen, unter denen die Vergleichung vorgenommen wird, ihren Ursprung haben. Selbst wenn nämlich die Kurve im Zusammenhang und unter gleichen physikalischen Bedingungen gewonnen wurde, läßt sich doch nicht leugnen, daß die psychologischen Bedingungen in den einzelnen Versuchsreihen z. T. stark verändert sind.

Die im Wesen der Methode begründete verschiedene Dauer der beiden Reize muß besonders erwähnt werden. Es ist selbstverständlich, daß der Vergleichungsakt sehr viel größere Schwierigkeiten bietet, wenn die Dauer der Reize im Verhältnis 55 : 710 steht, als wenn sie sich mehr der Gleichheit nähert; und es ist wenigstens in hohem Grade wahrscheinlich, daß die Genauigkeit des Urteils im umgekehrten Verhältnis zu seiner Schwierigkeit steht. Also sind die einzelnen Punkte mit verschiedener Genauigkeit bestimmt. — Die subjektive Sicherheit scheint übrigens bei der *N V*-Zeitlage im allgemeinen größer zu sein als bei der *V N*; damit stimmt gut überein, daß die Korrektur, die die Anfangskurve der ersten Zeitlage mit wachsender Übung erfährt, gegenüber der der zweiten nicht sehr beträchtlich ist; ein weiterer Grund, von der einfachen Annahme des arithmetischen Mittels abzusehen [1]).

[1]) Die allmähliche Verschiebung der Äquivalenzwerte, die sich als ein Zusammenrücken der *N V* und *V N* Kurven darstellt, betraf, z. B. bei 128, besonders die Versuchsreihen, in denen die Dauer von *N* 95 bis 395 σ betrug. Dann bestanden bedeutende qualitative Unterschiede zwischen Haupt- und Vergleichsreiz; *N* hatte einen explosiven knallartigen Charakter. In diesem Falle läßt sich die Intensität schwer beurteilen; sie erscheint zunächst sehr groß, schwächt sich aber offenbar in der Reproduktion beträchtlich ab. Denn bei der *V N* Zeitlage mußte der Vergleichsreiz besonders groß, bei der *N V* viel kleiner genommen werden, um dem Normalreiz gleich zu erscheinen. — Andrerseits besteht anfänglich bei der Folge *N V* die Neigung, die Intensität eines *N* Reizes von der Dauer $x\,\sigma$ nicht mit der Schlußintensität von *V* zu vergleichen, sondern bereits mit der Stärke, die *V* nach etwa $x\,\sigma$ erreicht hat. Dazu mußte *V* objektiv sehr stark gewählt werden, und die Schwelle war sehr groß; sie konnte bis $^1/_4$ oder $^1/_5$ wachsen, während sie später durchschnittlich $^1/_{14}$ bis $^1/_{18}$ betrug.

3. Allgemeine Tatsachen des Erregungsanstiegs.

Dieser kurze Hinweis auf einige wichtigere Probleme, die sich bei der Interpretation ergeben, rechtfertigt die vorsichtige Formulierung, die Kafka seinen Versuchsresultaten gegeben hat. Inzwischen ist diesen die wertvolle Zustimmung V. Hensen's[1]) zu teil geworden, der unter anderen Gesichtspunkten und mit anderen Mitteln zum gleichen Schluß kam.

Die vergleichende Zusammenstellung meiner Resultate führt auf folgende Punkte:

I. Der allgemeine Verlauf des Anstiegs. Bei allen Tonhöhen und allen Tonstärken erfolgt, von unwesentlichen Schwankungen abgesehen, der Anstieg zunächst ziemlich rasch, dann immer langsamer. Das Verhältnis von Intensitätszuwachs und Zeitzuwachs, d. h. die Geschwindigkeit des Anstiegs, nimmt allmählich ab.

II. Das Maximum. Daher ist der Zeitpunkt, an dem die Tonerregung zuerst ihr Maximum erreicht, nicht genau zu bestimmen. Bei den Versuchen von *S.* liegt er stets zwischen 615 und 925 σ. Die Differenz gegenüber der Angabe Kafka's, der das Maximum für leisere Töne bei 2120 σ, für stärkere bei 1680 und 1130 σ ansetzt, erklärt sich zwanglos aus der viel größeren Intensität der von mir verwendeten Töne.

IIa. Die Remissionen. Die Versuche mit Tonhöhe 128 zeigen bei beiden Beobachtern eine auffällige Erscheinung. Der Hauptreiz, der nach einer Einwirkungsdauer von 925 σ, sowie später bei 1450, 1795, 2075 σ in voller Stärke wahrgenommen wurde, erforderte nach 1110 σ zur Herstellung der Gleichheit einen schwächeren Prüfungsreiz; er erschien also bei der kürzeren Einwirkungsdauer stärker als bei der längeren. Der Äquivalenzwert nach 1110 σ beträgt

bei *S.* 90,7 Schwelle 7 %
bei *von A.* 94,09 untere Schwelle 6 %

Auch in der Zeitlage *N V* des Beobachters *v. A.* trat die Remission, nur entsprechend früher (bei 615 σ), auf. Die Erscheinung darf vielleicht mit den Ergebnissen Urbantschitsch's[2]) in Verbindung

[1]) Victor Hensen, Über die Empfindungsarten des Schalles, Pflügers Archiv 119. S. 249.

[2]) Zitiert bei Wundt, Phys. Psych. III^5, S. 371.

gebracht werden, der freilich bei bedeutend längeren Schallreizen Ermüdungserscheinungen konstatierte. Auch aus anderen Sinnesgebieten, z. B. in weit größerem Umfang beim Lichtsinn, sind Analoga bekannt. Die Versuchsreihen mit den (viel schwächeren) Tönen 384 und 640 ergaben keine Remissionen.

III. Der Einfluß der Intensität macht sich in dem von Kafka angegebenen Sinne bemerkbar: eine Vergleichung der beiden Kurven von Tonhöhe 384 zeigt, daß bei dem stärkeren Reiz der Anstieg in den kurzen Zeiten bedeutend rascher erfolgt. Ob auch der Eintritt des Maximums dabei wesentlich beschleunigt wurde, läßt sich nicht feststellen, da diese Kurve vorzeitig abgebrochen werden mußte; doch ist es mir wegen mancher in den Vorversuchen gefundenen Werte nicht wahrscheinlich. — Die Kurvenpaare beider Beobachter für 128 zeigen ein durchaus ähnliches Verhalten und könnten wohl zur Bestätigung der Regel dienen; doch sollen sie hier nicht als vollgültige Belege angeführt werden, da für den Stärkeunterschied der bei Gruppe I und II verwendeten Töne ein objektiver Beweis nach Lage der Dinge (s. o.) natürlich nicht erbracht werden kann.

IV. Der Einfluß der Tonqualität. Um darzustellen, welche Wirkung die Schwingungszahl auf den Verlauf des Anstiegs ausübte, gebe ich nachstehende Tabelle, die die Versuchsergebnisse von *S.* enthält. Dabei wurde die zuletzt gewonnene vollständigste und regelmäßigste

Zeitlage *NV.*

σ	I	II	III	IV	V	V
	128		384		640	
	schw.	st.	schw.	st.	1. 2.	3.
55	0,81	1,689	1	2,6	2,108	—
95	0,801	—	1	2,139	1,985	2,721
145	0,784+	1,393	1	—	1,679	1,76
195	0,872+	—	1	(1,455)	—	—
245	0,8	—	1	(1,513)	1,408	1,741
315	0,86	—	1	(1,818)	—	—
395	—	1,094	1	—	1,245	1,331
465	0,932	1,066	(1)	—	—	—
530	0,955	—	1	—	1,097	—
615	0,802	—	1	—	1,022	1,067+

Zeitlage *VN*.

σ	I	II	III	IV	V	V
	128		384		640	
	schw.	st.	schw.	st.	1.	2.
55	1,024	1,387	1	2,917	—	—
95	—	1,481	1	—	3,636	(1,881)
145	1,669	1,215	1	2,777	2,056	—
195	1,306	0,94	1	(1,971)	—	—
245	—	0,956	1	(1,775)	—	1,223
315	1,195	—	1	—	—	—
395	—	1,019	1	(1,354)	1,191	—
465	—	1,059	1	(1,316)	—	—
615	1,016	—	1	1,033	—	—

Kurve III (384 geringere Stärke) als Normalkurve gewählt und der Wert, den sie für jede der untersuchten Zeiten (1. Spalte) annimmt, stets = 1 gesetzt. Die Zahlen in derselben Zeile geben dann die relative Größe, die die übrigen Kurven nach gleicher Einwirkungsdauer[1]) erreichten.

Wenn die Geschwindigkeit des Anstiegs allein von der Intensität des Tons abhängig, dagegen von der Qualität ganz unabhängig wäre, so müßte ansteigen:

am langsamsten	Ton 640	=	V. Kurve
rascher dann	» 384 schw.	=	III. »
	» 384 st.	=	IV. »
	» 128 schw.	=	I. »
endlich am raschesten	» 128 st.	=	II. »

als der weitaus stärkste Ton.

Die vorstehende Tabelle ergibt aber bei der Zeitlage *NV*[2]) mit bemerkenswerter Konstanz eine ganz andere Reihenfolge: es steigt

am langsamsten	Ton 128 schw.	=	I. Kurve
dann rascher	» 384 »	=	III. »
	128 st.	=	II. »
	640	=	V. »
		1. u. 2. R.	1. u. 2.
am raschesten	» 384 st.	=	IV. Kurve
und	640	=	V. »
		3. R.	3.

[1]) Die eingeklammerten Werte sind durch Interpolation gewonnen, da besonders bei der zuerst untersuchten Gruppe IV noch nicht die hier angegebenen Zeiten Verwendung fanden; bei + wurde das arithmetische Mittel aus mehreren Äquivalenzwerten der Berechnung zugrunde gelegt.

[2]) Auch bei der Zeitlage *VN* besteht im allgemeinen eine ähnliche Ordnung der

Sicher wäre auch das zwiespältige Ergebnis bei Tonhöhe 640 verschwunden, wenn mit dieser Gabel eine genügende Zahl von Versuchen hätte ausgeführt werden können. Ob die vollständige Anstiegskurve für 640 dann vor oder nach Kurve IV ihre Stelle gefunden hätte, ist übrigens ziemlich nebensächlich, denn in jedem Fall erkennt man deutlich, wie neben der Intensität ein zweiter Faktor die Geschwindigkeit des Anstiegs beeinflußt: eine Vermehrung der Schwingungszahl bewirkt, ebenso wie eine Vermehrung der Intensität bei gleichbleibender Qualität, daß die Schallerregung besonders in den Anfangsstadien einen rascheren Anstieg nimmt; bei den längeren Darbietungszeiten nähern sich die Werte aller Kurven den Werten der Normalkurve.

Der Einfluß der Tonqualität gelangt natürlich in der Ordnung der Kurven nach der Anstiegsgeschwindigkeit auch nicht rein und von dem der Intensität unabhängig zum Ausdruck; er kann sogar noch viel weniger isoliert dargestellt werden, wie dieser. Denn Änderungen der Intensität sind leicht bei konstanter Qualität zu bewirken und demnach in ihrem Einfluß auf die Geschwindigkeit des Erregungsanstiegs ziemlich eindeutig zu bestimmen. Dagegen ist es psychologisch nicht im gleichen Maße möglich, bei wechselnder Qualität die Intensität der Empfindung absolut konstant zu halten. So hat die Vergleichung der Anstiegskurven verschiedener Töne stets mit Einflüssen beider Faktoren zu rechnen; zumal im vorliegenden Falle, wo die Intensitätsunterschiede der verwendeten Töne sehr groß waren. Hier können nun die beiden Variablen ihre Wirkung gegenseitig verstärken, so daß z. B. ein starker und hoher Ton (384, Gruppe IV) sehr rasch ansteigt; sie können sie aber auch, gegeneinander wirkend, beeinträchtigen oder sogar durchkreuzen; z. B. weist trotz der geringeren Schwingungszahl Ton 128, Gruppe II infolge der großen Intensität einen rascheren Anstieg auf, als Ton 384 in Gruppe III.

Die Reihenfolge, welche die verschiedenen Kurven nach der Geschwindigkeit ihres Anstiegs ergaben, scheint daher nur verwirrt oder

Kurven; daß sie weniger konstant ausfällt (indem einige Kurven sich schneiden), ist auf die geringere subjektive Sicherheit des Urteils bei dieser Folge der Reize zurückzuführen. (Vgl. S. 37.) Die dort gleichfalls erwähnte Erscheinung, daß die Äquivalenzwerte mit wachsender Übung eine beträchtliche Reduktion erfahren, erklärt auch das zunächst auffallende Verhältnis der Gruppen I und II, das somit nur scheinbar der in Abschnitt III dieses Kapitels gegebenen Regel widerspricht.

gar regellos, solange man intellektualistisch-einseitig den Einfluß der Intensität oder den der Qualität für sich und gesondert aus ihr bestimmen will; sie erklärt sich zwanglos, wenn man beide Faktoren, die stets zusammen wirken, auch gemeinsam zur Interpretation heranzieht.

Es sei mir am Schlusse dieser Arbeit noch gestattet, Herrn Geheimrat Wundt für seine Anteilnahme, den Herren Professor Wirth und Privatdozent Dr. Klemm für die dauernde Unterstützung und Förderung meinen aufrichtigsten Dank auszusprechen.

Druck von Breitkopf & Härtel, Leipzig.